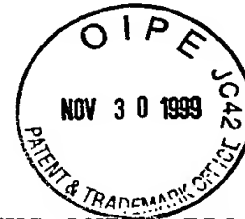


X

1762 #3  
12-28-99  
503.37698X00  
*Link*  
*B.*

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s):           TAKAHASHI, et al.  
Serial No.:             09/414,520  
Filed:                  October 8, 1999  
Title:                  A PLASM PROCESSING APPARATUS AND A PLASMA  
                          PROCESSING METHOD  
Group:



RECEIVED  
DEC - 1 1999  
1700 MAIL ROOM

LETTER CLAIMING RIGHT OF PRIORITY

Honorable Commissioner of  
  Patents and Trademarks  
Washington, D.C. 20231

November 30, 1999

Sir:

Under the provisions of 35 USC 119 and 37 CFR 1.55, the  
applicant(s) hereby claim(s) the right of priority based on:

Japanese Patent Application No. 10-289696  
Filed: October 12, 1998

A certified copy of said Japanese Patent Application is  
attached.

Respectfully submitted,

ANTONELLI, TERRY, STOUT & KRAUS, LLP

William I. Solomon  
Registration No. 28,565

WIS/ssr  
Attachment

# 日本国特許庁

PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日  
Date of Application:

1998年10月12日

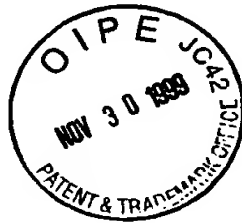
出願番号  
Application Number:

平成10年特許願第289696号

出願人  
Applicant(s):

株式会社日立製作所

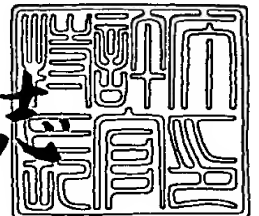
RECEIVED  
DEC - 1 1999  
TC 1700 MAIL ROOM



1999年 8月11日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

伴佐山建志



出証番号 出証特平11-3056526

【書類名】 特許願

【整理番号】 J3913

【提出日】 平成10年10月12日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 21/00

【発明の名称】 プラズマ処理装置およびプラズマ処理方法

【請求項の数】 10

【発明者】

    【住所又は居所】 山口県下松市大字東豊井 7 9 4 番地  
株式会社 日立製作所 笠戸工場内

    【氏名】 高橋 主人

【発明者】

    【住所又は居所】 茨城県土浦市神立町 5 0 2 番地  
株式会社 日立製作所 機械研究所内

    【氏名】 増田 俊夫

【発明者】

    【住所又は居所】 山口県下松市大字東豊井 7 9 4 番地  
株式会社 日立製作所 笠戸工場内

    【氏名】 加治 哲徳

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地  
株式会社 日立製作所 中央研究所内

    【氏名】 横川 賢悦

【特許出願人】

    【識別番号】 000005108

    【氏名又は名称】 株式会社 日立製作所

【代理人】

    【識別番号】 100074631

    【弁理士】

【氏名又は名称】 高田 幸彦

【電話番号】 0294-24-4406

【選任した代理人】

【識別番号】 100083389

【弁理士】

【氏名又は名称】 竹ノ内 勝

【電話番号】 0294-24-4406

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 033123

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 プラズマ処理装置およびプラズマ処理方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

真空処理室と、該真空処理室内で処理される試料を載置するための試料台と、プラズマ生成手段とを有するプラズマ処理装置であって、少なくとも炭素とフッ素を含むガスを導入してプラズマを生成し、プラズマ解離によって炭素とフッ素を含むガス種を発生させてプラズマ処理を行うにあたり、該プラズマ生成手段は、プラズマ解離の度合いが中程度で炭素とフッ素からなるガス種が十分プラズマ中に生成しているプラズマ生成手段であって、該真空処理室の真空壁を形成している領域の温度を、 $10^{\circ}\text{C}$  から  $120^{\circ}\text{C}$  の範囲に制御したことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のプラズマ処理装置において、プラズマ生成手段を電子温度が  $0.25\text{ eV}$  から  $1\text{ eV}$  の範囲であるプラズマ源としたことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 3】

請求項 1 に記載のプラズマ処理装置において、プラズマ生成手段を、周波数が  $300\text{ MHz}$  から  $1\text{ GHz}$  の範囲のマイクロ波を用いた電子サイクロトロン共鳴方式としたことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 4】

請求項 1 に記載のプラズマ処理装置において、プラズマ生成手段を、プラズマ励起電源の駆動を間欠的にしたことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 5】

請求項 1 から請求項 4 のいずれかに記載のプラズマ処理装置において、真空壁の温度を調節する手段として、温度調節された冷媒を用いたことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 6】

真空処理室と、該真空処理室内で処理される試料を載置するための試料台と、

プラズマ生成手段とを有するプラズマ処理装置により、少なくとも炭素とフッ素を含むガスを導入してプラズマを生成し、プラズマ解離によって炭素とフッ素を含むガス種を発生させてプラズマ処理を行うにあたり、該プラズマ生成手段は、プラズマ解離の度合いが中程度で炭素とフッ素からなるガス種が十分プラズマ中に生成しているプラズマ生成手段であって、該真空処理室の真空壁を形成している領域の温度を、 $10^{\circ}\text{C}$ から $120^{\circ}\text{C}$ の範囲に制御したことを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 7】

請求項 6 に記載のプラズマ処理方法において、プラズマ生成手段を電子温度が  $0.25\text{ eV}$  から  $1\text{ eV}$  の範囲であるプラズマ源としたことを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 8】

請求項 6 に記載のプラズマ処理方法において、プラズマ生成手段を、周波数が  $300\text{ MHz}$  から  $1\text{ GHz}$  の範囲のマイクロ波を用いた電子サイクロトロン共鳴方式としたことを特徴とするプラズマ処理装置およびプラズマ処理方法。

【請求項 9】

請求項 6 に記載のプラズマ処理装置において、プラズマ生成手段を、プラズマ励起電源の駆動を間欠的にしたことを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 10】

請求項 6 から請求項 9 のいずれかに記載のプラズマ処理方法において、真空壁の温度を調節する手段として、温度調節された冷媒を用いたことを特徴とするプラズマ処理方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、プラズマ処理装置に関し、特にシリコン酸化膜などの絶縁膜をプラズマによりエッチングする装置に関し、エッチングパターンの微細化に対応できるプラズマ発生源を有し、しかも長期にわたって安定なエッチング特性を維持することが可能なプラズマエッチング装置に関する。

## 【0002】

## 【従来の技術】

従来のプラズマ処理装置の中で、酸化膜エッチング装置を例にとり、その技術と課題を示す。従来の酸化膜用のプラズマエッチング装置として最も広く使用されている型式は、1対の対向する電極からなる狭電極型の高周波プラズマ生成装置である。13.56MHzから数10MHz程度の高周波を片方の電極に印加し、他方にはウエハを載置して周波数が1MHz前後のウエハへの高周波バイアスを別に印加する方式や、1対の電極に高周波を印加する方式が知られている。この方式のエッチング装置は、電極間の距離が20から30mm程度と狭いため、狭電極型プラズマ源や平行平板型プラズマ源と呼ばれている。なお、狭電極型のプラズマ源は圧力が低い領域でのプラズマ生成が困難であるが、磁場印加などの機能を付加することで、放電圧力の低下を図った装置も使用されている。

## 【0003】

また、これとは別に誘導コイルを使用した誘導型プラズマ源や、マイクロ波を導入するマイクロ波プラズマエッチング装置などが知られている。これらのプラズマ源は低圧力でもプラズマの発生と維持が可能であり、しかもプラズマ密度が高いことから、低圧力高密度プラズマ源と呼ばれている。

## 【0004】

これらのプラズマ源を用いたシリコン酸化膜エッチングでは、エッチングガスとしてアルゴンArに $C_4F_8$ などの炭素C、フッ素Fを含むガスや、 $CHF_3$ などの水素Hを含むガスなどを混合したり、さらに酸素 $O_2$ や一酸化炭素CO、水素 $H_2$ 等が添加された混合ガスが使用されている。

## 【0005】

これらのガスは、プラズマにより解離し、 $CF_3$ 、 $CF_2$ 、 $CF$ 、 $F$ に分解される。このガス分子種の量や比率がシリコン酸化膜（以下、単に酸化膜と称する）のエッチング特性に大きく影響を及ぼす。

## 【0006】

特に、高密度プラズマ源の場合はプラズマ中の電子温度が高いためにプラズマ解離が進行し、フッ素ガス分子種Fが多いプラズマとなる。さらに、イオン化も

進み中性ガス分子種（ラジカル）の比率が低いという特徴がある。このため、高電子温度高密度プラズマによる酸化膜エッチングでは、酸化膜の下地であるシリコン表面に付着する  $Cf_x$  ( $CF_3$ 、 $CF_2$ 、 $CF$ ) の量が低下するため、シリコン  $Si$  のエッチング速度が大きく、選択比が小さいという問題がある。これを解決するための手段として、エッチング室壁面の温度を  $200^{\circ}C$  程度に上げ、壁面に付着した堆積物を放出させたり、壁面への堆積物の付着を抑制するなどして、プラズマ中の  $Cf_x$  ラジカル量を増加させる方法が知られている。そのため、高密度プラズマを使用する装置では、選択比を得るために壁面の高温化が必須となっている。

## 【0007】

公開特許公報特開平 7-183283 号に記載の酸化膜エッチング装置も壁面を高温化した例である。

## 【0008】

そのほかの高選択比を得る対策として、プラズマ中の電子温度を低下させプラズマ解離を抑制する方法がある。具体的には、プラズマ印加を間欠的に行うもので、パルスプラズマと呼ばれている方法である。

## 【0009】

もう一つの高選択比を得る例としては、エッチング室内に  $F$  を消費する材料を予め設置しておく方法である。公開特許公報特開平 9-283494 号は、この例であり、エッチング室側壁を  $Si$  で構成し、側壁の加熱手段やバイアス印加手段を備え、プラズマ中の  $F$  を消費させている。

## 【0010】

狭電極型のプラズマを使用する酸化膜エッチングでは、デバイスパターンが  $0.25\mu m$  以下へと微細化するのに対応して、被エッチング部へのイオン入射角度のズレを極力小さくする必要がある。イオン入射角度のズレが、エッチング形状の異常を引き起こしたり、深い穴の底まで到達するイオン量が減少することでエッチング速度の低下やエッチングの停止を引き起こすなどの問題があるためである。イオン入射角度のズレは、プラズマ中のラジカルにイオンが衝突するなどで入射角度分布に広がりを持つことが原因である。これの解決には、イオンとラ



ジカルの衝突を減少するのが有効であり、具体的には圧力を低下させる必要がある。そのため、低圧力でのプラズマ放電が難しい狭電極型の装置では、低圧力でもプラズマ生成が可能なように、プラズマ発生源の周波数を高周波化したり、磁場印加したりなどの工夫が図られている。

#### 【0011】

なお、電極間の距離が狭い狭電極型のプラズマ源において低圧力化を図ると、ガス分子の平均自由行程が長くなるためにガス分子同士の衝突頻度が減少し、代わりにガス分子と電極との衝突が支配的となる。これはプラズマ中でのガス分子衝突によってプラズマを維持したり反応を制御する必要のあるエッチング装置としては好ましい状態ではなく、低圧力化に対応するには電極間隔を大きくしなければならない。電極間隔が広くなると、エッチング室内表面積に占める側壁面積の割合が大きくなる。これまで狭電極型のプラズマ源では、プラズマやウエハから見て側壁面積が狭かったため、側壁での堆積とガス放出がほとんどエッチング特性に影響しなかったが、低圧力化を図った狭電極型プラズマ装置では、新たな対策が必要になる。また、ウエハの大口径化に対応し、ウエハ面内のガス圧力分布や反応生成物分布を均一にしなければならないが、そのためにも電極間隔を広くする必要があり、側壁の重要性は益々高くなる。

#### 【0012】

側壁に付着した反応生成物がエッチング特性に影響を及ぼすことを示したが、エッチングを長期にわたって継続する場合には、その影響度合の変化が問題になる。たとえば、エッチングを繰り返し実施することで側壁の温度が次第に上昇する。側壁の温度が上昇すると側壁への反応生成物の付着や脱離の挙動が変化し、エッチング特性が変動することになる。

#### 【0013】

また、エッチングとともに側壁への付着物の量が次第に増加する場合には、付着物の量に依存して側壁表面での反応生成物の吸着脱離挙動が変化することもありうる。このような経時的な変化で、エッチング特性が影響を受ける現象は、特に酸化膜エッチングの場合に知られている。したがって、側壁の温度調節は酸化膜エッチング装置にとって重要な課題である。

## 【0014】

特に、高電子温度高密度プラズマ源では、側壁温度を高く設定せざるを得ない。このような高い側壁温度においては、わずかに側壁温度が変動しても付着物の吸着脱離挙動が大きく変化する。そのため、側壁温度変動を小さい範囲に抑えなければならず、 $200^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ などといった高精度の温度調節も行われている。

## 【0015】

## 【発明が解決しようとする課題】

以上のように、いずれのプラズマ源においても、酸化膜エッチングの要求を満たすために解決すべき課題が残されている。

## 【0016】

酸化膜エッチング装置の重要な課題は、プラズマによるガス分子の解離を酸化膜のエッチングに最適な状態にすることである。これに対応し、低電子温度で高密度プラズマの新しいプラズマ発生源が提案されている。たとえば、公開特許公報特願平8-300039号に記載のように、プラズマ励起周波数を300MHzから1GHzのUHF帯にしたUHF型ECR装置である。この範囲の周波数帯で励起されたプラズマの電子温度は0.25eVから1eVと低く、 $\text{C}_4\text{F}_8$ のプラズマ解離が酸化膜エッチングに適したレベルになっている。また、ECR方式であるため、低圧力でも高密度のプラズマを生成することが可能となっている。

## 【0017】

この様に、微細化とウエハ大口径化に対応するには、電子温度を低くしてエッチングガスの過剰解離を抑制するとともにプラズマ密度を高くし、プラズマ密度やガス圧力、反応生成物分布をウエハ上で均一化し、かつ酸化膜エッチング特性が長期にわたって変化しない装置を提供する必要がある。

## 【0018】

本発明の目的は、酸化膜エッチングに必要な低電子温度で高密度プラズマの発生が可能なUHF型ECRプラズマエッチング装置等を用い、長期に渡りエッチング特性の変動を小さく抑え、かつエッチングの停止などを発生することなく、安定稼動が可能なプラズマ処理装置及び処理方法を提供することにある。

## 【0019】

## 【課題を解決するための手段】

本発明の特徴は、真空処理室と、該真空処理室内で処理される試料を載置するための試料台と、プラズマ生成手段とを有するプラズマ処理装置であって、少なくとも炭素とフッ素を含むガスを導入してプラズマを生成し、プラズマ解離によって炭素とフッ素を含むガス種を発生させてプラズマ処理を行うにあたり、該プラズマ生成手段は、プラズマ解離の度合いが中程度で炭素とフッ素からなるガス種が十分プラズマ中に生成しているプラズマ生成手段であって、該真空処理室の真空壁を形成している領域の温度を、10℃から120℃の範囲に制御したプラズマ処理装置およびプラズマ処理方法にある。

## 【0020】

UHF型ECRプラズマエッチング装置は、ウェハと対向した位置にUHF帯のマイクロ波放射アンテナを有し、かつアンテナ部に設けたガス供給部からエッチングガスを供給する構造である。UHF帯マイクロ波は、アンテナから直接プラズマに放射されるとともに、アンテナの周囲に設けられた誘電体を通してプラズマ中に放射される。また、ウェハ載置電極はエッチング位置とウェハ受け渡し位置が別の位置であり、電極上下機能も有している。ウェハ載置電極とアンテナあるいはガス供給板の間の距離（電極間距離と称する）は、反応生成物の再解離などを考慮して50mmから100mmの範囲に設定されている。

## 【0021】

電極周りの側壁温度は、本発明の装置では、10℃から120℃の範囲、好ましくは30℃から50℃に温度調節されている。側壁温度が変動すると、側壁の堆積物からガス種が放出され、エッチング特性に影響を及ぼす。本発明では、この影響を抑制するため、側壁の温度を±5℃に制御している。温度が低いために、側壁の温度が5℃程度変動しても、側壁から放出される放出ガス量の変動が少ないため、エッチング特性への影響は無視できる。

## 【0022】

また、本発明のプラズマ源はUHF型ECR方式であるため、プラズマ解離が中程度でCf<sub>x</sub>種が酸化膜エッチングに必要なレベルまで十分に存在する。その

ため、高密度プラズマ源で問題となる  $Cf_x$  種の不足と過剰  $F$  は解決されていて、選択比を高くするために側壁温度を高くする必要はない。また、側壁温度が低温度に制御されているので、温度制御精度が  $\pm 5^\circ C$  でも長期にわたってエッチング特性の変動を抑えるのに十分である。

#### 【0023】

##### 【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について述べる。図1はUHF型ECRプラズマエッチング装置の一例である。真空容器であるエッチング室1の周囲に電子サイクロトロン共鳴(ECR)用磁場を発生するためにコイル2が設置されている。エッチング用ガスは、ガス供給管3を通して供給され、直径が0.4ないし0.5mm程度の微細な穴が数100個程度設けられたシリコンあるいはガラス状炭素からなるガス供給板4からエッチング室1に導入される。ガス供給板4の上方にはUHF帯のマイクロ波を放射する円盤状のアンテナ5が設けられ、アンテナ5へのマイクロ波は電源6から導入軸7を通して給電される。

#### 【0024】

マイクロ波は、アンテナ5の周囲から放射されるのと、アンテナ5の上方の空間での共振電界が誘電体8を通してエッチング室内に導入される。また、アンテナ5と電極9との間で容量結合的な電界も発生し、効率的なプラズマ発生源になっている。マイクロ波の周波数は、プラズマの電子温度を0.25eVから1eVの低温度にできる帯域が選定されていて、300MHzから1GHzの範囲である。本実施例では450MHz付近の周波数帯を使用した。また、誘電体8としては、石英やアルミナが使用できるし、ポリイミドなどの耐熱性ポリマーで誘電損失が小さいものを使用できる。

#### 【0025】

ガス供給板4の下方にはウエハ載置電極9が設けられ、ウエハ10が静電吸着により支持されている。ウエハ10にプラズマ中のイオンを引き込むため、ウエハ載置電極9に高周波バイアスが高周波電源11から印加される。

#### 【0026】

また、本発明の特徴であるエッチング室内壁の温度制御は、温調側壁12にお

いてなされる。温調側壁 12 には、図には示していないが、温度調節された冷媒が導入され、一定の温度に保持されている。本実施例では 30℃ に設定した。

## 【0027】

エッチングガスや反応生成物がエッチング室 1 の内壁に堆積するが、ウエハ載置電極 9 の周囲や下流域にも堆積し、異物の発生源となる。そのため、定期的な清掃が必要があるが、強固に付着した堆積物を除去するのは、必ずしも容易ではない。そこで、堆積物の洗浄は改めて専用の洗浄装置で実施することにした。大気開放したエッチング室 1 は速やかに真空排気に移行するのが、装置の不稼働時間を短縮し生産性を向上する上で重要である。そのため、堆積物は部品交換が容易に実施できない部分には付着させないようにし、堆積物の付着した部品は別に準備した洗浄品と交換することが、望ましい。このようにすることで、エッチング室 1 の大気開放時間が短縮され、その後の真空排気時間の短縮が図れる。

## 【0028】

本発明では、エッチング室 1 の下流域に堆積物を付着させないため、堆積物付着用のカバー 13 を温調側壁 12 の下流域に設置した。カバー 13 には、真空排気やウエハ受け渡し用の開口部を設けた。カバー 13 で堆積物が回収されるので、下流域における堆積物の付着が低減される。

## 【0029】

エッチング室 1 に直結接続された真空室 15 には、排気速度が 2000 から 3000 L/s 程度のターボ分子ポンプ 14 が設置されている。また、図には示していないが、ターボ分子ポンプの開口部には排気速度調整用のコンダクタンスバルブが設置され、エッチングに適した流量と圧力を達成するために、排気速度を調節する。バルブ 16 は、大気開放時などにターボ分子ポンプ 14 を隔離するために使用される。

## 【0030】

次に、本発明のプラズマエッチング装置を用いた酸化膜エッチングの実施例について説明する。

## 【0031】

高真空に排気された状態のエッチング室 1 に、図には示していないが、搬送室

から搬送アームによってウエハが搬入され、ウエハ載置電極 9 の上に受け渡される。搬送アームが後退してエッチング室 1 と搬送室間のバルブが閉じられた後、ウエハ載置電極 9 が上昇して、エッチングに適した位置で停止する。本実施例の場合は、ウエハ 10 とガス導入板 4 との距離（電極間距離）を 50 mm から 100 mm とした。

#### 【0032】

エッチングガスとして、Ar と  $C_4F_8$ 、 $O_2$  の混合ガスを使用し、それぞれの流量 500、10、5 sccm を導入した。圧力は 2 Pa である。UHF マイクロ波電源の出力を 1 kW とし、ウエハへのバイアス電源 11 の出力を 600 W とした。コイル 2 に電流を印加し、UHF マイクロ波 450 MHz の共鳴磁場 0.016 T をガス供給板 4 とウエハ載置電極 9（すなわちウエハ 10）の間に発生させた。次にマイクロ波電源 6 を動作させた。電子サイクロトロン共鳴により、磁場強度 0.016 T の ECR 領域に強いプラズマが発生する。

#### 【0033】

エッチング特性の均一化を図る上で、ウエハ 10 の表面における入射イオン密度を均一にする必要があるが、ECR 位置を上記のようにし、ECR 領域の形状をウエハ 10 側に凸の状態とすることで、イオン電流密度の均一化を図れる。

#### 【0034】

プラズマが着火した後に、図には示していないが、高周波電源 11 に並列に接続された直流電源から高電圧がウエハ載置電極 9 に印加され、ウエハ 10 はウエハ載置電極 9 に静電吸着される。静電吸着されたウエハ 10 の裏面にヘリウムガスが導入され、冷媒により温度調節されたウエハ載置電極 9 のウエハ載置面とウエハ間でヘリウムガスを介してウエハの温度調節が行われる。

#### 【0035】

次に、高周波電源 11 を動作させ、ウエハ載置電極 9 に高周波バイアスを印加する。これにより、ウエハ 10 にプラズマ中からイオンが垂直に入射する。酸化膜エッチングでは高エネルギーイオン入射が不可欠であり、本実施例でも高周波バイアス電圧  $V_{pp}$ （最大ピークと最小ピーク間の電圧）は 1000 V から 2000 V の値とした。このような高エネルギーイオンによる衝撃で、ウエハ 10 の

温度が上昇する。酸化膜エッチングでは、ウエハ温度は、高めの方が選択比は高くなるなどエッチング特性に優れているため、数10℃の値に調節される。しかし、高エネルギーイオンの入射を必要とすることから、ウエハ10への入熱量が大きく、ウエハ載置電極9の冷媒温度は、-20℃付近に設定した。

## 【0036】

バイアス電圧がウエハ10に印加されると同時に、エッチングが開始される。所定のエッチング時間でエッチングを終了する。あるいは、図示していないが、反応生成物のプラズマ発光強度変化をモニターし、エッチング終点を判定してエッチング終了時間を求め、適切なオーバーエッチングを実施した後、エッチングを終了する。エッチングの終了は、高周波バイアス電圧の印加を停止したときである。これと同時に、エッチングガスの供給も停止する。

## 【0037】

ただし、静電吸着したウエハ10をウエハ載置電極9から脱着する工程が必要であり、除電ガスとしてアルゴンなどが供給される。静電吸着電圧の供給を停止して給電ラインをアースに接続した後、マイクロ波の放電を維持しながら10秒間程度の除電時間を設ける。これにより、ウエハ10上の電荷がプラズマを介してアースに除去され、ウエハ10が容易に脱着できるようになる。除電工程が終了すると、除電ガスの供給停止とともにマイクロ波の供給も停止される。さらには、コイル2への電流供給も停止する。また、ウエハ載置電極9の高さを、ウエハ受け渡し位置まで下降させる。

## 【0038】

この後しばらくの間、エッチング室1を高真空まで排気する。高真空排気が完了した時点で、搬送室間のバルブを開け、搬送アームを挿入してウエハ10を受け取り、搬出する。次のエッチングがある場合は、新しいウエハを搬入し、再び上述の手順に従ってエッチングが実施される。

## 【0039】

以上で、エッチング工程の代表的な流れを説明した。

## 【0040】

UHF帯マイクロ波ECRプラズマの電子温度は、0.25 eVから1 eVで

あり、エッチングガスである $C_4F_8$ の解離はそれほど進まない。 $C_4F_8$ の解離は複雑であるが、エッチングに寄与するガス種は、 $CF_3$ から $CF_2$ に解離し、次に $CF$ が生成され、最後に $F$ が生成される。したがって、電子温度が高いほど $F$ が豊富なプラズマとなる。従来技術の項でも述べたように、酸化膜エッチングで選択比を確保するには、下地シリコンの上に堆積物を付着させて高エネルギー入射によるエッチングを抑制しなければならない。すなわち、高エネルギーのイオンが入射するため、堆積膜がないと物理的なスパッタによってエッチングが進行する可能性もあるためである。したがって、エッチングを進行させるためには、高エネルギーのイオンを穴底まで供給しなければならないが、選択比を確保するためには、堆積膜を形成するラジカルの供給も必要である。この堆積膜を形成するラジカルは、 $CF_3$ や $CF_2$ であるとされている。逆に $F$ ラジカルは、 $SiF_4$ などを形成して下地シリコンをエッチングしてしまう。したがって、高選択比エッチングのためには $CF_2/F$ 比を大きくすることが必要である。UHF帯マイクロ波ECRプラズマの場合は、電子温度が低いために、 $F$ の生成量が少なく、 $CF_3$ 、 $CF_2$ 、 $CF$ が多いプラズマが形成されている。したがって、高電子温度高密度プラズマの場合のように、プラズマプラズマ解離が過剰に進行したために不足した $CF_2$ や $CF_3$ を供給するため、エッチング室内壁を $200^\circ C$ 以上に加熱する必要もない。

#### 【0041】

微細化対応エッチングに必要な点は、（１）低電子温度でプラズマ解離を適度に抑制して $CF_2/F$ 比の大きいプラズマを発生させること、（２）イオン入射角の $90^\circ$ からのズレを小さく抑え、エッチング形状のテーパ化を防ぐこと、（３）エッチングを多数回繰り返してもエッチング特性の変動が小さいこと、が挙げられる。その他、エッチング特性に関連した項目も重要な開発課題であるが、ここでは触れない。

#### 【0042】

第１項目は、本発明のUHF帯マイクロ波プラズマエッチング装置を使用することで解決される。第２項目は、イオンと気相中のガス分子との衝突で軌道がずれることが主原因であり、分子間衝突を少なくするよう圧力を下げることが有効



な対策である。本発明のUHF型ECR装置は電子サイクロトロン共鳴を利用しているため低圧力でのプラズマ発生が可能である。第3項目は、エッチング回数を数100枚のオーダーで繰り返してもエッチング特性が変動しないことであり、いわゆる経時変化の抑制である。経時変化の主原因は、エッチング室1の内壁や部品に付着している堆積物から放出されるガス種の時間変動である。具体的には、側壁など対象部材の温度変動が大きな原因となっている。

#### 【0043】

経時変化抑制の対策としては、温度制御により壁面の堆積物の吸着脱離現象が変動しないようにすることを基本としているが、プラズマの発生方式により、装置として必要な壁面の面積が異なる。その関係を図2に示した。狭電極型プラズマ装置はエッチング室の高さも小さく側壁面積も狭い。これに対し、高密度プラズマ型装置はエッチング室高さが高く側壁面積も広い。本発明のUHF型ECR装置は、エッチング室の高さ（電極間距離）と側壁面積が中間に位置していて、酸化膜エッチングに適した領域を占めている。

#### 【0044】

エッチング室の高さ、すなわち電極間距離が50mmから100mmという中間の距離にあるのは、エッチングによって生成した反応生成物が再解離したりウエハに再入射したりすることで、酸化膜のエッチング特性が影響を受けるが、その度合を最適化できる距離にしているためである。すなわち、本実施例での圧力2Pa付近での平均自由行程との相関から決められた電極間距離となっている。この程度の電極間距離にすることができたため、ウエハ面上での圧力分布が一様になった。ウエハ径が200mmから300mmに大口径化されても、圧力差を十分小さくできる。さらに、電極間距離に依存するコンダクタンスも大きいいため、真空排気速度も十分大きくとれ、エッチングガスや反応生成物の滞在時間を短くすることが容易にできる。

#### 【0045】

側壁の面積が広ければ、それだけ堆積膜の付着量が多くなる可能性を秘めており、エッチング特性への影響度も大きくなる。高密度プラズマを維持する装置では、プラズマ発生方法などの要請で、エッチング室の高さを100mmから20

0 mmの範囲にする必要がある。そのため、側壁がエッチング室全体の面積に占める割合が高く、側壁でのエッチングガスや反応生成物の堆積などが変動した際の影響が大きい。この影響を抑制する方法は、側壁の温度変動を小さくするか、堆積物が付着しないように側壁を高温に加熱するかである。また、先にも述べたように、高密度プラズマ源を用いた装置では、電子温度が高いためFが多いプラズマが生成されているので、選択比を確保するために側壁に堆積するガス種を低減したり堆積物からのガス放出を促進する必要がある、側壁を高温にせざるを得ない。以上のような理由により、高電子温度高密度プラズマエッチング装置では、側壁を200℃程度に加熱し±2℃の範囲に温度調節している。しかし、200℃以上の高温に側壁を加熱し、温度変動を±2℃のように高精度に抑えるのは技術的に困難であり、装置の複雑さや信頼性の問題、価格の高騰などにつながる。なお、側壁とはエッチング室内壁と同じ意味であり、天井や他のプラズマに接する部分も含む。また、堆積物が付着する部分であれば、プラズマに直接接していなくてもエッチング特性に影響する可能性があるので、装置によって十分な注意が必要である。なお、本発明の装置では、側壁は50 mmから100 mm程度であり、下流域において堆積物が付着している領域は、ほとんど認められない。

## 【0046】

したがって、酸化膜プラズマエッチング装置としては、側壁温度の温度調節精度をゆるめてもエッチング特性の変動が生じないような装置が望ましい。本発明のUHF型ECRプラズマ装置では、選択比を向上するために側壁温度を高くする必要がない。経時変化抑制の観点で側壁温度を設定できるという利点がある。

## 【0047】

図3に、堆積膜の温度が1℃変化した場合の堆積膜からのガス放出量を測定した結果を示した。堆積膜の温度が高ければ、1℃の温度変動によって放出されるガス量も多いことが分かった。エッチングガスの流量に換算して0.01 sccmの流量に相当するガスが堆積膜から放出されると、エッチング特性に影響を及ぼす可能性があると仮定し、その時の側壁温度の温度調節範囲を図3の右側に示した。200℃の場合は、±2℃に側壁を制御しないとガス放出量の変動が0.

0.1 sccm以上になってしまう。これに対し、側壁温度を120℃以下にすると、側壁温度が変化してもガス放出量の変化は小さい。すなわち、側壁温度の制御精度を±5℃や±10℃にしても、エッチング特性に影響を及ぼすほどのガス放出は生じないことが分かる。

## 【0048】

本発明のエッチング装置では、側壁温度を10℃から120℃の範囲に設定した。好ましくは、室温20℃から50℃程度に制御するのが良い。この温度範囲は、エッチング室を高温度に加熱しないので装置の寸法変化が少なく真空シールや熱膨張係数の異なる材料を自由に使用できるメリットがあるし、温度制御も容易であるといった特徴がある。本発明では、温度調節器に接続された冷媒を側壁に導入する方式を採用した。この方式の採用で、温度制御性を±5℃以下にすることが出来た。

## 【0049】

なお、図3は堆積物からのガス放出量を調べた結果である。側壁温度が200℃以上の高温度になると、堆積物の付着量そのものが少なくなるので、堆積物が付着しないような高温度制御の装置では図3の例より実質的なガス放出量は少なくなる。堆積物の付着量を考慮したガス放出量の安定性、変動量の大小を図4に示した。

## 【0050】

図4の横軸はエッチング室の側壁温度であり、縦軸は相対的な大小の度合を示している。堆積膜からのガス放出量は200℃を越える付近から急激に増加する。これに対し、側壁への堆積物の付着量（堆積速度）は温度が高くなるにつれて次第に減少し、200℃付近から急激に減少する。これは、温度が200℃を越え300℃以上になると側壁に堆積膜が付着しなくなるためである。

## 【0051】

したがって、領域1の温度範囲では、温度が低いために堆積膜は多いが堆積膜からのガス放出量は少なく、結果として側壁の堆積膜がエッチング特性に及ぼす影響は小さい。また、領域3においては、温度が高いために単位堆積物からのガス放出量は多いが、堆積膜がほとんど付着していないので、結果としてガス放出

量は小さく、エッチング特性への影響も小さい。ところが、両者の中間の温度範囲である領域 2 においては、堆積膜も比較的多くガス放出量も多いため、結果的に側壁の温度変動がエッチング特性に大きく影響する。以上の点を考慮すると、経時変化を抑制するためには、側壁温度を領域 1 にするか領域 3 にすれば良い。領域 1 の温度範囲は 120℃以下であり、領域 3 は 200℃以上、領域 2 は 120℃から 200℃の範囲である。本発明においては、領域 1 の温度範囲に側壁を設定した。なお、原理的には、側壁温度は低くても良いが、温度設定が容易な温度であることや冷媒流路が結露しないことなどを考慮し、下限温度を 10℃とした。

#### 【0052】

図 5 は、本発明の UHF 型 ECR プラズマエッチング装置において、Ar と C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> の混合ガスを用いて連続エッチングした場合のエッチング速度変動を示したものである。この時、側壁の温度調節は行っていないので、プラズマの放電時間とともに上昇し、室温から 60℃程度まで上昇した。温度変動として ±20℃程度あったことになる。エッチング開始当初の窒化シリコンのエッチング速度が高くなっていて、エッチング特性の変動が認められる。

#### 【0053】

これに対し、図 6 に示したのは、側壁の温度調節を実施した場合のエッチング特性である。エッチング室を大気開放して真空排気した後、エッチング室内を堆積膜で被って定常状態にする処理などは一切実施せず、直ちにエッチングを開始したにもかかわらず、エッチング開始当初からエッチング特性は安定で、その後の変動もほとんど認められない。なお、この時の側壁温度変動は ±5℃以内であった。

#### 【0054】

以上の結果からもわかるように、UHF 型 ECR プラズマエッチング装置において、側壁の温度調節を実施することにより、極めて安定なエッチング特性が得られる。

#### 【0055】

なお、本実施例では、UHF 型 ECR プラズマエッチング装置を用いた場合を

前提に説明したが、酸化膜のエッチングにとって適したプラズマ源であればUHF型ECRプラズマエッチング装置に限定されるものではない。すなわち、プラズマ中の電子温度が1 eV以下の低電子温度であり、しかも高密度プラズマであれば良いので、たとえば、マイクロ波の印加を間欠的に実施するパルスプラズマ源を用いた装置でも良い。さらには、マイクロ波以外の誘導型プラズマをパルス駆動したプラズマ源を用いた装置でも良い。これらのプラズマ源を用いた装置のエッチング室側壁を10℃から120℃の範囲に設定することで、酸化膜エッチング特性に優れ、しかも長期にわたって安定な特性を示すことが可能になる。

#### 【0056】

また、側壁の温度調節は、冷媒を用いた例を示したが、これに限定されるものではなく、水冷や気体による強制冷却、あるいはヒーターの使用、赤外線を使用するランプ加熱など、どれを採用しても良い。要は、温度範囲を10℃から120℃の範囲とすることである。この温度範囲に設定することで、側壁の温度調節範囲は±5℃程度でも十分安定なエッチング特性を得ることができる。エッチング条件によっては、±10℃程度でも安定なエッチング特性が得られ、温度調節が極めて容易になる。

#### 【0057】

##### 【発明の効果】

本発明によれば、酸化膜エッチング特性に優れ、しかも長期にわたって安定なエッチング特性を得ることができるので、歩留まりが向上し、スループットも向上するという利点が期待できる。また、側壁の温度調節は10℃から120℃と低い温度に設定されているので、エッチング室の寸法が熱膨張により大きくなることによる弊害が回避できる。

#### 【0058】

たとえば、エッチング室に多用されているアルミニウム合金の線膨張係数は $24 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ であるが、アルミナや石英では、それぞれ $5.6 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 、 $0.41 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ である。これだけ線膨張係数が異なると、プラズマ放電によりエッチング室が加熱されたり、強制的に高温に温度制御したりする場合、材料間の寸法差が大きくなり、構造的に熱膨張を回避する工夫が必

要になる。また、真空シール部の寸法変化はシール特性に影響するし、シール材であるエラストマーの耐熱性も問題になる。150℃を越えるレベルまで温度が高くなると、シール材の寿命も短くなる可能性が高くなる。この様に、温度が高いことによる弊害、構造的に耐熱性を付加しなければならない点、そのためのコスト増加、など種々の問題が生じてくる。

【0059】

この点、本発明によれば、側壁温度を120℃以下の低温度に設定できるので、上述した問題点が解消されるといった利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明のエッチング装置の一例を示す図。

【図2】

各種プラズマ源の寸法関係を示す図。

【図3】

堆積膜からのガス放出の特性を示す図。

【図4】

経時変化に及ぼす側壁温度の影響を示す図。

【図5】

側壁の温度調節をしない場合のエッチング速度変化を示す図。

【図6】

側壁を温度調節した場合のエッチング速度変化を示す図。

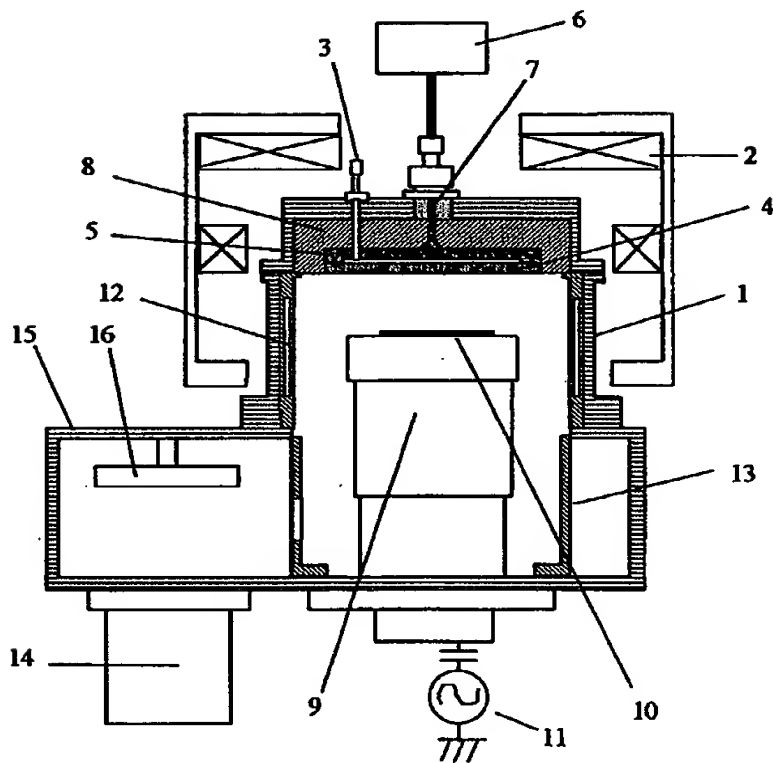
【符号の説明】

1…エッチング室、2…コイル、3…ガス供給管、4…ガス供給板、5…アンテナ、6…電源、7…導入軸、8…誘電体、9…ウエハ載置電極、10…ウエハ、11…高周波電源、12…温調側壁、13…カバー、14…ターボ分子ポンプ、15…真空室、16…バルブ

【書類名】 図面

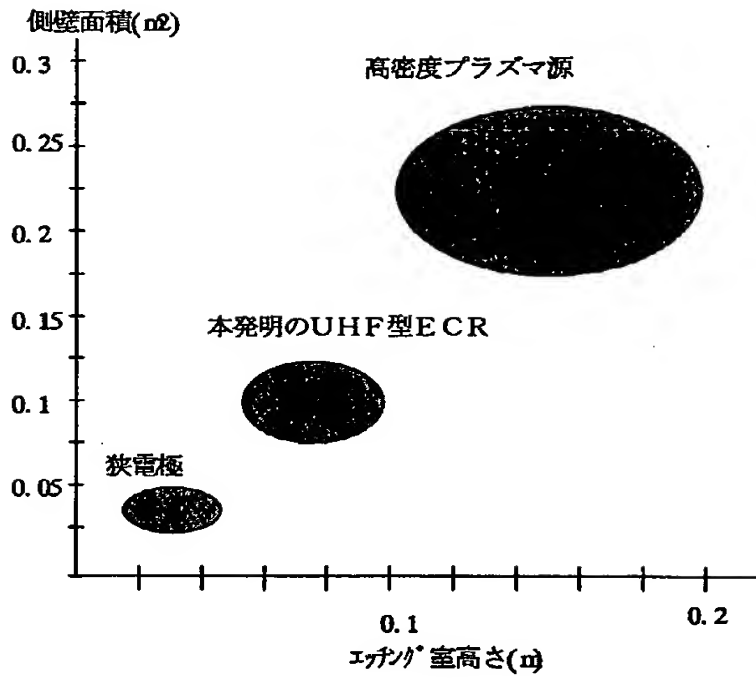
【図 1】

図 1 本発明のエッチング装置



【図 2】

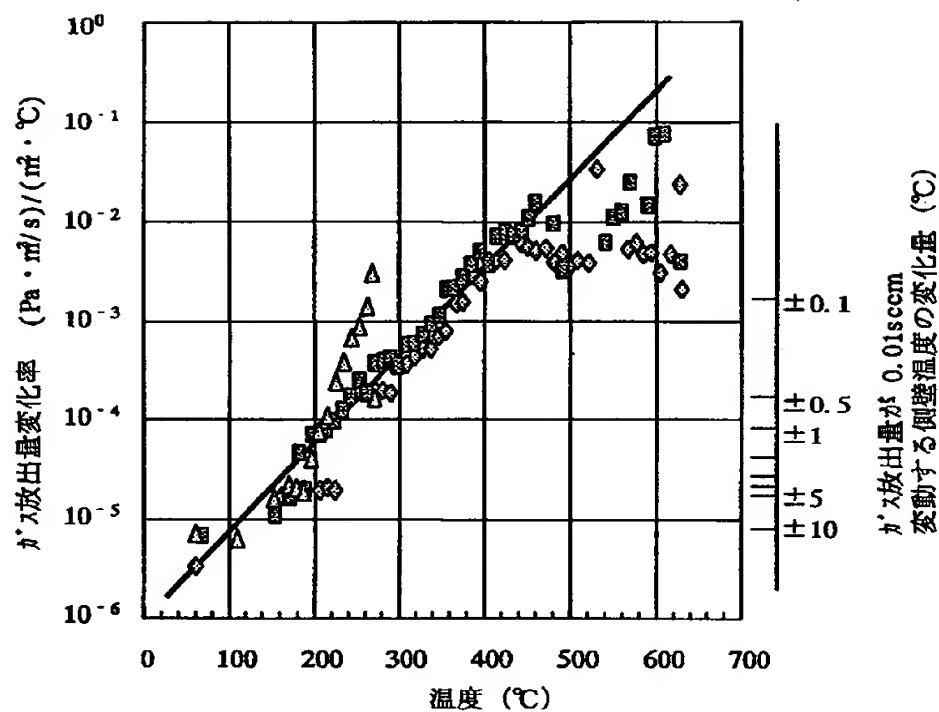
図 2 各種プラズマ源の寸法関係





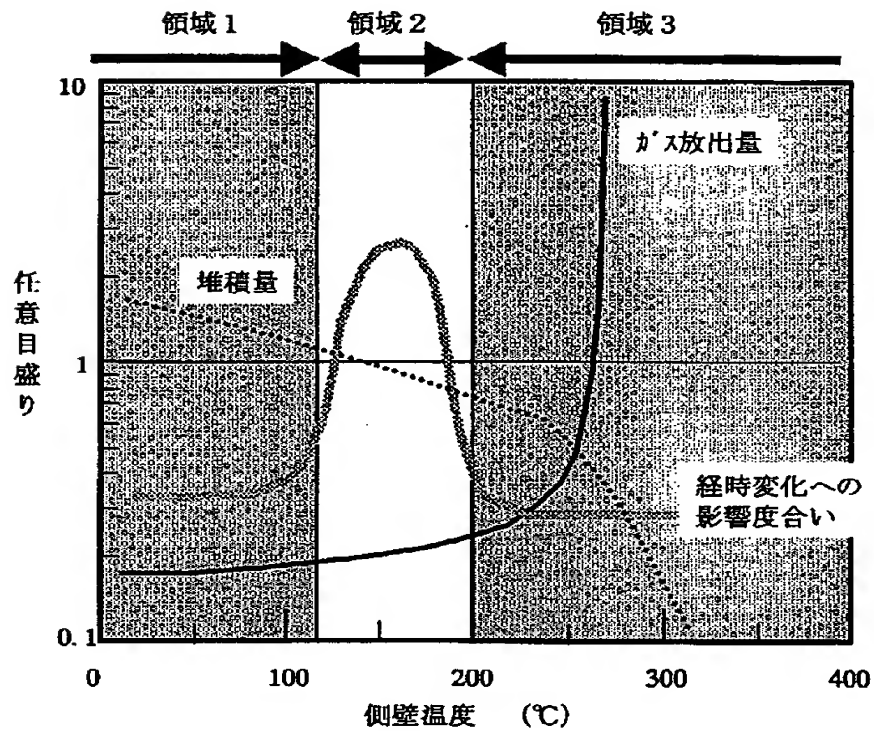
【図 3】

図 3 堆積膜からのガス放出



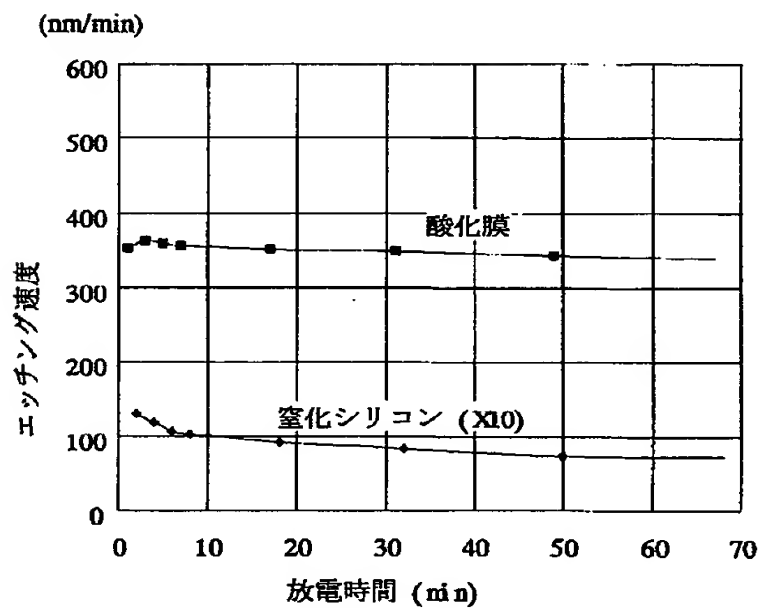
【図 4】

図 4 経時変化におよぼす側壁温度の影響



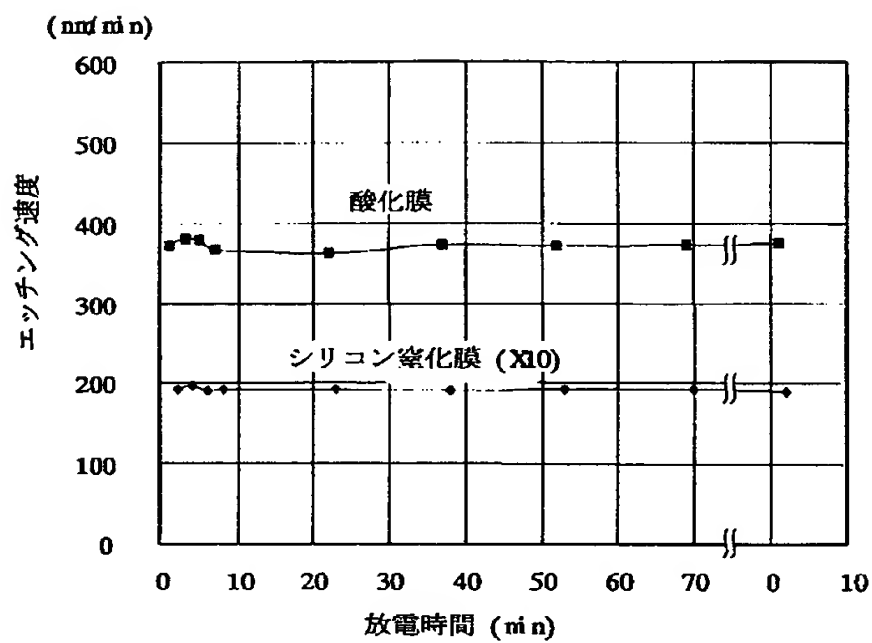
【図 5】

図 5 側壁の温度調節をしない場合のエッチング速度変化



【図 6】

図 6 側壁を温度調節した場合のエッチング速度変化



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 酸化膜エッチングには、適度な $CF_3$ 、 $CF_2$ 、 $CF$ 、 $F$ の比のプラズマが必要であるとともに、エッチング室の温度変動によりエッチング特性が変動するという課題がある。

【解決手段】 電子温度が低いUHF型ECRプラズマエッチング装置を用いて適度な解離を得、側壁の温度調節範囲を $10^{\circ}C$ から $120^{\circ}C$ にすることで安定なエッチング特性を得る。低電子温度高密度プラズマを用いた酸化膜エッチングができるので、優れた特性のエッチング結果が得られるとともに、側壁温度調節範囲が低いので、装置構造や耐熱性対策が容易になる。

【選択図】 図1

【書類名】 職権訂正データ  
【訂正書類】 特許願

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】  
【識別番号】 000005108  
【住所又は居所】 東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地  
【氏名又は名称】 株式会社日立製作所  
【代理人】 申請人  
【識別番号】 100074631  
【住所又は居所】 茨城県日立市幸町二丁目1番48号 秋山ビル2階  
日峯国際特許事務所  
【氏名又は名称】 高田 幸彦  
【選任した代理人】  
【識別番号】 100083389  
【住所又は居所】 茨城県日立市幸町二丁目1番48号 秋山ビル2階  
【氏名又は名称】 竹ノ内 勝

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005108]

1. 変更年月日 1990年 8月31日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地

氏 名 株式会社日立製作所